

Opinnäytetyö (AMK)

Elektroniikan koulutusohjelma

Elektroniikka

2011

Jari Väkiparta

# KAUKO-OHJATTAVA VALAISTUKSEN OHJAIN LED- VAKIOVIRTALÄHTEILLE



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Jari Väkiparta

## KAUKO-OHJATTAVA VALAISTUKSEN OHJAIN LED-VAKIOVIRTALÄHTEILLE

Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin ja rakennettiin kauko-ohjattava LED-valaistuksen ohjainlaite. Laite hyödyntää LED-vakiovirtalähteiden 5 V:n PWM-himmenninsisääntuloa tai 1...10 V:n himmenninsisääntuloa. Laitteeseen suunniteltiin erilaisia valaistuksensäätöominaisuuksia, kuten valaistustason muuttuminen liukuvasti viiveellä, sekä valaistustason säätöminen ympäristön valoisuuden mukaan. Lisäksi luotiin valmiita esiasetuksia valaistustasolle, jotta sopivan valoisuuden löytäminen onnistuisi mahdollisimman helposti.

Ohjainlaite toteutettiin PIC-mikrokontrolleria hyödyntämällä. Mikrokontrollerilla luotiin halutut valaistuksensäätöominaisuudet muokkaamalla PWM-ulostulosignaalin pulssisuhdetta. PWM-ulostulon avulla tehtiin 1...10 V:n ulostulo.

Ohjainlaitteen toimintoja käytetään, joko ohjainlaitteessa tai kauko-ohjaimessa olevista painonapeista. Kauko-ohjaimen yhteys ohjainlaitteeseen toteutettiin 433,92 MHz:n kantoaaltotaajuutta käyttävillä lähetin- ja vastaanotinmoduuleilla.

PWM-signaali reagoi nappien painamiseen nopeasti ja erilaiset valaistuksensäätöominaisuudet toimivat halutulla tavalla. Myös kauko-ohjaimen yhteys ohjainlaitteeseen toimi odotetusti ja PWM-signaali reagoi myös kauko-ohjaimella suoritettuun säätöön nopeasti.

### ASIASANAT:

LED, vakiovirtalähde, PIC, mikrokontrolleri, PWM, himmennin, kauko-ohjaus

Jari Väkiparta

## A REMOTE CONTROLLED LIGHT CONTROLLER FOR CONSTANT CURRENT LED DRIVERS

In this thesis a light controller capable of controlling constant current LED drivers with the use of dimming inputs was designed and built. The most important features for the light controller were a smooth change of brightness and a feature for adjusting brightness by ambient light. Other features were four preset values for ease of finding the proper brightness with minimal effort.

The device uses a PIC microcontroller to create the wanted light adjusting features. The microcontroller adjusts the pulse width of the 5 V PWM signal. This PWM signal was used to create a 1...10 V voltage level. These signals were used to control the LED drivers.

The device is controlled with pushbuttons either on the device or on the remote controller. A link between the device and the remote controller was created with a transmitter and receiver modules that use a carrier frequency of 433.92 MHz.

As a result the light controller worked as designed. All the created light adjusting features worked correctly. A connection between the device and the remote controller was established successfully and the device reacted quickly to button presses both from the device itself and from the remote controller.

### KEYWORDS:

LED, constant current driver, PIC, microcontroller, PWM, dimmer, remote control

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2 VAATIMUKSET</b>	<b>2</b>
2.1 Laitteen ulostulot	2
2.2 Ohjainlaitteen toimintoja	3
<b>3 LEDIEN TOIMINTA</b>	<b>4</b>
<b>4 LAITTEISTON SUUNNITTELU</b>	<b>6</b>
4.1 Komponenttien valinta	6
4.1.1 Mikrokontrolleri	6
4.1.2 Kauko-ohjauksen siirtotie	7
4.1.3 Enkooderi ja dekooderi	7
4.2 Ohjainlaitteen kytkennän suunnittelu	7
4.2.1 Reguloitinkytkentä	7
4.2.2 Toimintonapit	8
4.2.3 Kirkkauden säätäminen ympäristön valoisuuden mukaan	9
4.2.4 Ulostulot	10
4.2.5 RF-vastaanotin	11
4.2.6 Dekooderi	12
4.3 Kauko-ohjaimen kytkennän suunnittelu	13
4.3.1 RF-lähetin	13
4.3.2 Enkooderi	14
<b>5 OHJELMAN SUUNNITTELU</b>	<b>16</b>
5.1 Ohjelman rakenne	16
5.1.1 Mikrokontrollerin alustukset	16
5.1.2 Ohjelman käynnistyminen	17
5.1.3 Pulssisuhteen säätäminen	18
5.1.4 Himmennyksen säätäminen ympäristön valoisuuden mukaan	19
<b>6 TULOKSET JA MITTAUKSET</b>	<b>20</b>
6.1 Funktioiden toiminnan testaus	20
6.2 Analoginen 1...10 V jänniteulostulo	22
6.3 Kauko-ohjaimen toimintojen testaus	22
<b>7 YHTEENVETO</b>	<b>23</b>
<b>LÄHTEET</b>	

## KÄYTETYT SYMBOLIT JA LYHENTEET

$C$	kapasitanssi
$E$	valaistusvoimakkuus
$f_{osc}$	mikrokontrollerin oskillaattoritaajuus
$f_{PWM}$	pulssinleveysmodulaation taajuus
$I$	virta
$P$	teho
$R$	resistanssi
$T_{osc}$	oskillaattorin jaksonaika
$t$	aika
$U$	jännite
$\tau$	aikavakio
$\Phi$	valovirta
ADC	analogia-digitaalimuunnin ( <i>Analog To Digital Converter</i> )
IOC	sisääntulon ominaisuus, jossa ennaltamäärätyn muutoksen tapahduttua sisääntulossa, aiheutuu ohjelmassa keskeytys ( <i>Interrupt-On-Change</i> ).
ISR	mikrokontrollerin keskeytysrutiini ( <i>Interrupt Service Routine</i> )
I/O	viittaa sisääntulo/ulostulo ( <i>input/output</i> ) ominaisuuteen eli esimerkiksi mikrokontrollerin pinni voi olla kykeneväinen sekä ottamaan tietoa vastaan sekä lähettämään sitä ulos.
I <sup>2</sup> C	sarjamuotoinen tiedonsiirtoväylä, jota voidaan käyttää laitteiden liittämiseen toisiinsa ( <i>Inter-Integrated Circuit</i> ).
LED	puolijohdekomponentti, kuten diodi, joka lisäksi säteilee valoa ( <i>Light-Emitting Diode</i> )
PWM	pulssinleveysmodulaatiosignaali ( <i>Pulse Width Modulation</i> ) on sakara-aallon näköinen signaali ja ideaalisesti se vaihtelee kahden tilan välillä, kytketty ja ei kytketty.
SPI	sarjamuotoinen tiedonsiirtoväylä, jota voidaan käyttää laitteiden liittämiseen toisiinsa ( <i>Serial Peripheral Interface Bus</i> ).

# 1 JOHDANTO

Teholedivalaisinmoduulit käyttävät yleensä muuntajaa, joka muuntaa verkkojännitteen 12 V:n tasajännitteeksi ja jonka virta on säädetty valaisinmoduulissa vastuksen kanssa ledille sopivaksi. Toinen yleinen vaihtoehto on vakiovirtalähde, jolloin virtaa säättävää vastusta ei valaisinmoduulissa tarvita, vaan virta on vakio, ja jännite määräytyy ledin kynnysjännitteen mukaan.

12 V:n tasajännitteen ja virransäätövastuksen yhdistelmän hyvä puoli on helppo kirkkaudensäätö ohjaamalla 12 V:n jännitettä pulssinleveysmodulaation (PWM) avulla. Yhdistelmän huono puoli on heikko energiatehokkuus teholedien mahdollistamilla korkeammilla virroilla, koska virransäätövastuksessa häviää runsaasti tehoa lämmöksi.

Hyvä vakiovirtalähde voi saavuttaa jopa yli 85 %:n hyötysuhteen, jolloin tehoa ei häviää lämmöksi yhtä paljon kuin tasajännitteen ja virransäätövastuksen yhdistelmällä. Kirkkauden säätäminen on vakiovirtalähteen kanssa perinteisesti ollut hankalaa, mutta monissa uusissa LED-valaistukseen tarkoitetuissa vakiovirtalähteissä on kirkkauden säätöön tarkoitettut himmenninsisääntulot.

Useissa näissä vakiovirtalähteissä on kirkkaudensäätöä varten 1...10 V:n analoginen sisääntulo, jossa kirkkaus säätyy sisääntulossa olevan jännitteen mukaan tai 5 V:n PWM-sisääntulo, jossa kirkkaus säätyy sisääntulevan PWM-signaalin pulssisuhteen mukaan.

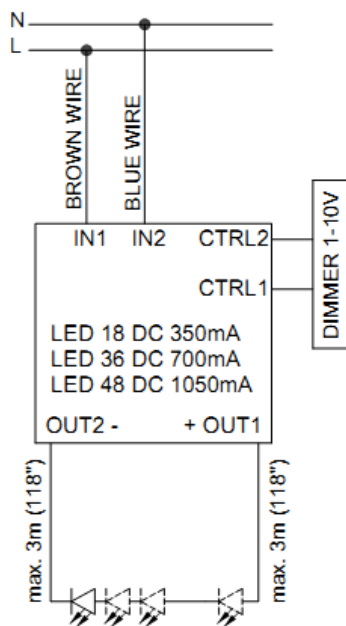
LED-valaistukseen tarkoitettujen vakiovirtalähteiden ohjaamiseen löytyy huonosti monipuolisia kauko-ohjattavia säätimiä toisin kuin 12 V:n tasajännitteelle tarkoitettuja. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella LED-valaistuksen ohjainlaite, jolla voitaisiin säätää vakiovirtalähteellä käytettävien LED-valaisinmoduulien kirkkautta hyödyntämällä vakiovirtalähteen kirkkaudensäätöön tarkoitettuja sisääntuloja.

## 2 VAATIMUKSET

Suunniteltavalla laitteella on pystyttävä hyödyntämään yleisimpiä LED-valaistuksessa käytettävien vakiovirtalähdeiden kirkkaudensääto ominaisuuksia. Lisäksi laitteessa tulisi olla kauko-ohjausmahdollisuus. Laitteen suunnittelussa ohjeistettiin käyttämään valmiita moduuleita tuotekehityksen nopeuttamiseksi sekä turhan työn välttämiseksi. Laite tuli myös suunnitella niin, että kauko-ohjausta voitaisiin mahdollisesti tulevaisuudessa jatkokehittää mahdollisimman helposti.

### 2.1 Laitteen ulostulot

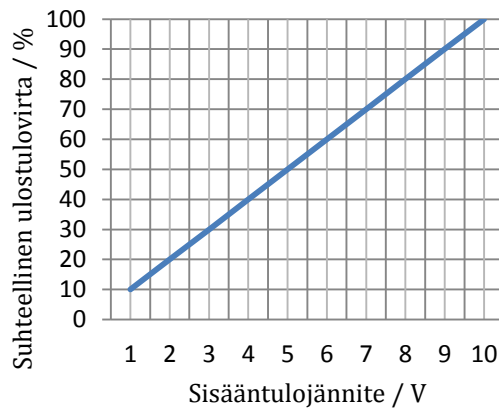
Laitteen tulee pystyä säätämään LED-valaisinmoduulin kirkkaudentasoa moduulia syöttävän vakiovirtalähteen kirkkaudensääntöön tarkoitettuja himmenninsisäntuloja hyödyntämällä. Tällöin jokin laitteen ulostuloista kytketään vakiovirtalähteen himmenninsisäntuloon esimerkiksi kuvassa (1) esitetyllä tavalla.



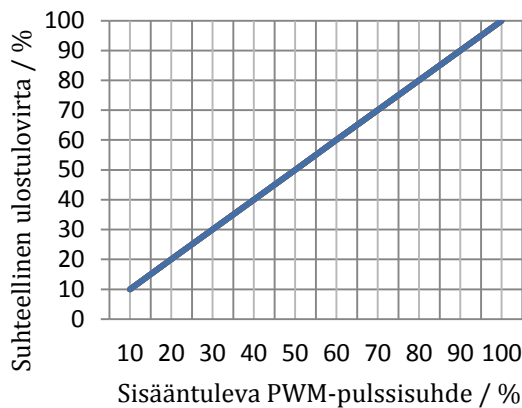
**Kuva 1.** LED-vakiovirtalähteen kytkentäkaavio, jossa on 1...10 V:n himmenninsisäntulo[1].

Kirkkaudensäätotavoiksi valittiin LED-vakiovirtalähteissä yleiset 1...10 V:n analoginen sisäntulo sekä 5 V:n PWM-sisäntulo. Analoginen 1...10 V:n sisäntulo säätää vakiovirtalähteestä tulevan virran, eli siis LED-valaisinmoduulin kirkkauden, himmenninsisäntulossa olevan jännitetaso mukaan. Ideaalisesti, kun jännitetaso 1...10 V:n himmenninsisäntulossa on 5 V, valoteho on 50 % maksimista (Kuva 2).

PWM-sisääntulo taas säätää vakiovirtalähteen ulostulovirran PWM-signaalin pulssisuhteen mukaan. Pulssisuhteen ollessa 50 % maksimista, eli pulssin ollessa saman ajan 0 V kuin se on 5 V, on valoteho 50 % maksimista (Kuva 3).



**Kuva 2.** Ideaalinen esitys LED-vakiovirtalähteen ulostulovirran suhteesta himmenninsisääntulon jännitetasoon.



**Kuva 3.** Ideaalinen esitys LED-vakiovirtalähteen ulostulovirran suhteesta himmenninsisääntulon PWM-pulssisuhteeseen.

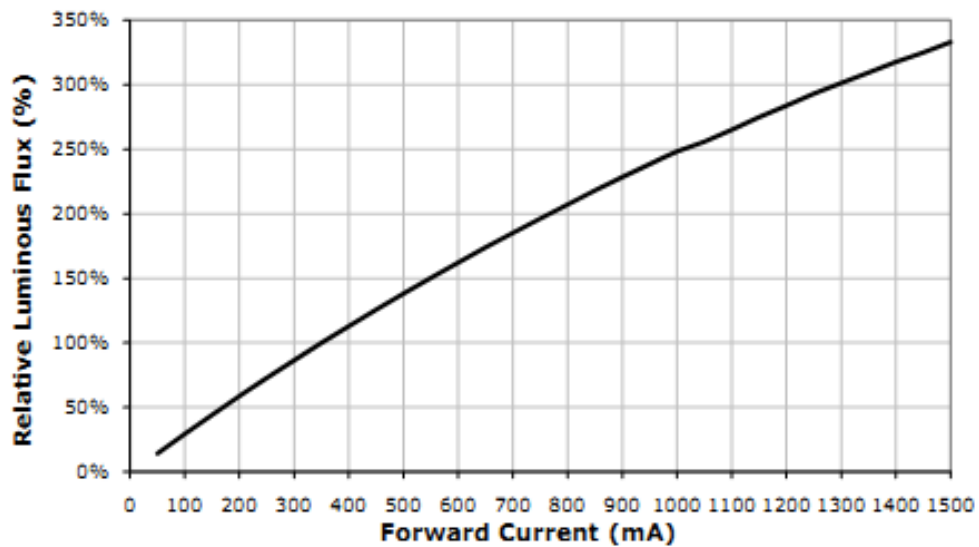
## 2.2 Ohjainlaitteen toimintoja

Ohjainlaitteessa tulisi olla manuaaliset mahdollisuudet lisätä ja vähentää kirkkautta, sekä siinä tulisi olla valmiita esiasetuksia kirkkauden tasolle. Kirkkauden tason muuttumisen tulisi tapahtua liukuvasti kirkkauden tasosta toiseen. Lisäksi muita ominaisuuksia olisi mahdollisuus läsnäolotunnistimelle sekä kirkkauden säätöminen ympäristön valoisuuden mukaan.

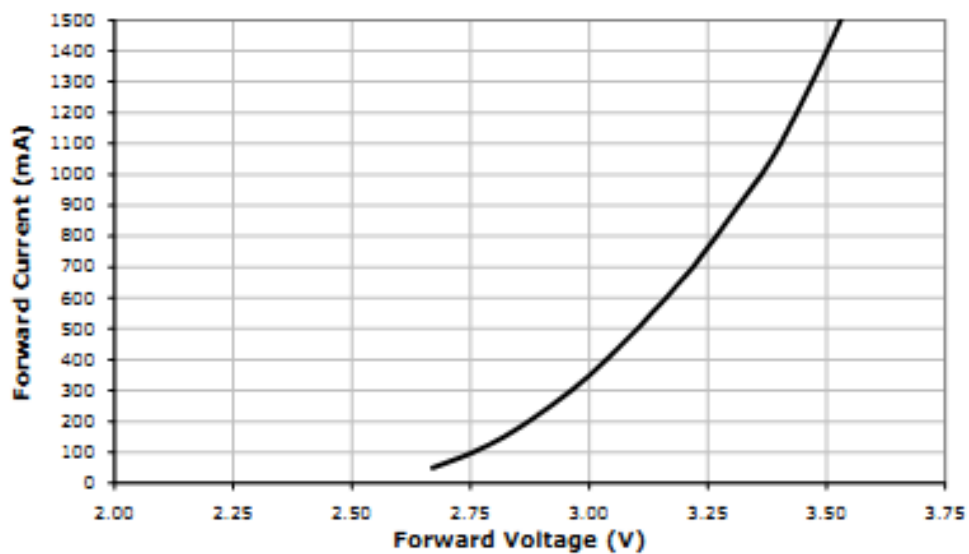


### 3 LEDIEN TOIMINTA

Ledi (LED) on puolijohdekomponentti, kuten diodi, mutta lisäksi se säteilee valovirtaa  $\Phi$  sen läpi kulkevan sähkövirran  $I$  funktiona (Kuva 4). Virta taas määräytyy ledin kynnysjännitteen mukaan. (Kuva 5). Kuvassa (5) nähdään myös, että pieni muutos kynnysjännitteessä aiheuttaa suuren muutoksen virrassa. Siksi käytännössä ledin läpi kulkevaa virtaa tulee rajoittaa jollain tavalla, kuten esimerkiksi vastuksella, jottei virta kasva liian suureksi ja vahingoita lediä [2].

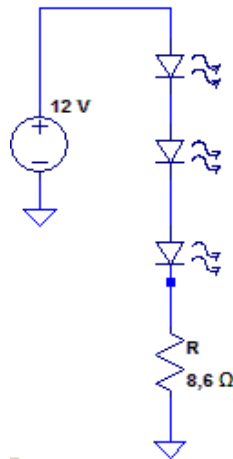


**Kuva 4.** Cree XP-G-ledin suhteellinen valovirta sen läpi kulkevan virran funktiona [2].



**Kuva 5.** Cree XP-G-ledin läpi kulkeva virta sen kynnysjännitteen funktiona [2].

Teholedisovelluksissa virran rajoittaminen vastuksella ei ole kovin tehokasta vastuksissa lämmöksi häviävän tehon takia. Häviävä teho voidaan laskea seuraavasti. Valitaan käyttöjänniteen  $U$  arvoksi 12 V. Kytetään sarjaan kolme lediä ja oletetaan yhden ledin kynnysjännitteen  $V_f$  arvoksi 3,0 V. Ledissä kulkevaksi virraksi  $I$  valitaan 0,35 A.



**Kuva 6.** Ledikytkentä, jossa käytetään vastusta rajoittamaan virta 0,35 A: iin.

Sijoittamalla Ohmin lakiin (Kaava 1) arvot  $U = 12 \text{ V}$  ja  $I = 0,35 \text{ A}$ , saadaan vastuksen arvoksi  $8,6 \Omega$ . Sijoittamalla Ohmin laki sähkötehon lausekkeeseen (2), saadaan kaava (3), jolla voidaan laskea vastuksessa häviävä teho. Sijoittamalla kaavaan (3) vastuksen yli oleva jännite  $U = 12 \text{ V} - (3 \cdot 3,0 \text{ V})$  eli  $U = 3,0 \text{ V}$  ja vastuksen arvo  $R = 8,6 \Omega$ , saadaan vastuksessa häviävän tehon määräksi 1,05 W. Jakamalla vastuksessa häviävä teho kytkennän kokonaisteholla,  $P = 12 \text{ V} \cdot 0,35 \text{ A}$  eli  $P = 4,2 \text{ W}$ , saadaan vastuksessa häviävän tehon osuudeksi 25 %. Tällöin ledien käyttämä teho on 75 %.

$$U = R \cdot I \quad (1)$$

$$P = U \cdot I \quad (2)$$

$$P = \frac{U^2}{R} \quad (3)$$

Vaihtoehtoinen tapa ledien virran rajoittamiseen on vakiovirtalähteen käyttäminen. Ledeille tarkoitettujen vakiovirtalähteiden hyötysuhteet vaihtelevat valmistajasta ja lähteen ominaisuuksista riippuen. Hyötysuhteet hyvissä virtalähteissä ovat keskimäärin noin 85 %:n luokkaa[3].

## 4 LAITTEISTON SUUNNITTELU

Aluksi tuli päättää miten ohjain toteutetaan. Vaatimuksissa todettiin, että ohjaimeen tulisi olla mahdollisimman helppo jatkokehittää kauko-ohjausta tulevaisuudessa, joten ohjaimen sydämeksi valittiin mikrokontrolleri. Sillä pystyttäisiin luomaan tarvittavat kirkkaudensäätöominaisuudet helposti, ja oikein valittuna siinä on hyvä pohja jatkokehitykselle.

### 4.1 Komponenttien valinta

Ohjaimen suunnittelu aloitettiin keskeisimpien komponenttien valinnalla. Näitä komponentteja ovat mikrokontrolleri ja kauko-ohjaukseen liittyvät komponentit. Ohjain päätettiin suunnitella toimivaksi 12 V:n käyttöjännitteellä, koska verkkojännitteen 12 V:ksi muuntavia jännitelähteitä on hyvin saatavilla sekä näin säästytään oman sisäisen teholähteen suunnittelulta.

Läsnäolotunnistumahdollisuus päätettiin jättää pois laitteesta itsestään, koska erilliset verkkojännitettä katkovat läsnäolotunnistimet ovat niin yleisiä, että katsottiin järkevämmäksi hyödyntää tarvittaessa sellaista katkomaan ohjaimen ulkoista jännitelähdettä.

#### 4.1.1 Mikrokontrolleri

Mikrokontrollerissa tulisi olla hyvät liitäntämahdollisuudet, kuten sarjamuotoiset liitäntäväylät I<sup>2</sup>C sekä SPI. Mikrokontrollerissa tulisi olla myös ADC-moduuli, riittävästi I/O-pinnejä sekä PWM-ulostuloja, jotta ohjaimelta vaaditut ominaisuudet pystytään täyttämään.

Tarkoitukseen sopivia 8-bittisiä mikrokontrollereita löytyy edullisesti esimerkiksi Microchipiltä ja Atmelilta, joilla myös molemmilla on ilmaiset kehitysympäristöt, mutta Microchipin mikrokontrolleri valittiin aikaisempien kokemusten perusteella. Ominaisuudet täyttäväksi mikrokontrolleriksi valikoitui PIC16F1828. Tässä mikrokontrollerissa on I<sup>2</sup>C-sekä SPI-liitäntäväylä, ADC-moduuli, neljä PWM-ulostuloa sekä kymmenen IOC-toiminnon omaavaa I/O-pinniä [4].

### 4.1.2 Kauko-ohjauksen siirtotie

Kehitettävälle kauko-ohjaukselle ei annettu tarkkoja vaatimuksia, joten tutkittiin infrapunan (IR) sekä radiotaajuuksien (RF) käyttöä siirtotienä. Mieluisammaksi vaihtoehdoksi osoittautui RF-siirtotien käyttö, sillä se oletettiin käyttäjäystävällisemmäksi, koska se ei esimerkiksi tarvitse esteetöntä näköyhteyttä, kuten IR-siirtotie. RF-linkiksi valittiin Linx Technologiesin RF-lähetin TXM-433-LC [5] sekä saman yhtiön vastaanotin RXM-433-LR [6], jotka käyttävät lupavapaata yhteistaajuutta 433,92 MHz [7][8].

### 4.1.3 Enkooderi ja dekooderi

RF-yhteydellä siirrettävä tieto valittiin enkoodattavaksi ja dekodattavaksi erillisillä enkooderilla ja dekooderilla tuotekehityksen nopeuttamiseksi. Vaihtoehto olisi ollut mikrokontrollereiden hyödyntäminen tähän, mutta se olisi tietänyt aikaa vievää lisäkoodaamista. Enkooderiksi ja dekooderiksi valikoitui Linx Technologiesin LICAL-ENC-MS001-enkooderi ja LICAL-DEC-MS001-dekooderi. Näiden valintaa puolsivat korkea osoitteiden määrä ( $2^{24}=16\,777\,216$ ) eli korkea turvallisuustaso, korkea pinnimäärä, 20 pinniä, joista 8 on datalinjoja, sekä helppo käyttöönotto eli ei ohjelmointia [9][10].

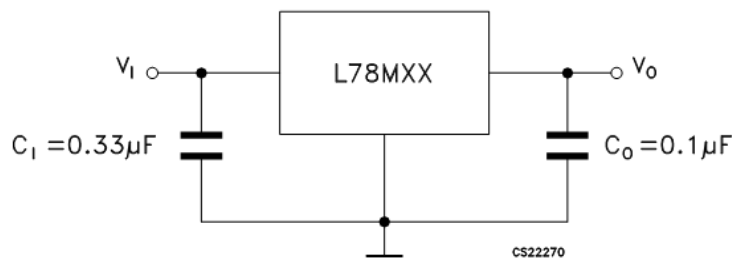
## 4.2 Ohjainlaitteen kytkennän suunnittelu

### 4.2.1 Reguloitinkytkentä

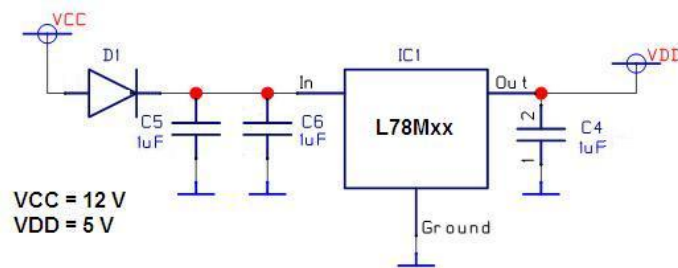
Laitteen kytkennän suunnittelu aloitettiin 12 V:n tasajännitteen reguloimisesta mikrokontrollerile ja muille IC-komponenteille sopivaksi. Sopivaksi jännitetasoksi valittiin 5 V ja regulointi päätettiin suorittaa perinteistä 7805-jänniteregulaattoria hyödyntämällä.

STMicroelectronicsin regulaattorin L78M05CDT-TR datalehden [11] mallikytken (Kuva 7) pohjalta toteutettiin laitteeseen sopiva reguloitinkytkentä (Kuva 8).

Kytkentään lisättiin diodi suojaamaan 12 V:n jännitelähdettä. Lisäksi regulaattorin tuloon sekä lähtöön lisättiin kapasitanssia varmistamaan riittävä jännitetaso, jos laitteisto tarvitsee äkillisesti enemmän virtaa. Tähän päädyttiin, kun testeissä huomattiin mikrokontrollerin käynnistyvän uudelleen nappea painettaessa. (Kuva 8)



**Kuva 7.** MallikytKentä [11].

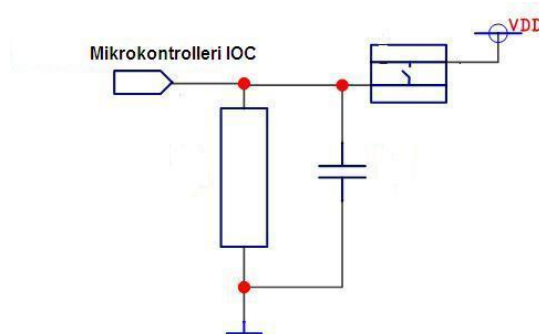


**Kuva 8.** Laitteen reguloitinkytKentä.

#### 4.2.2 Toimintonapit

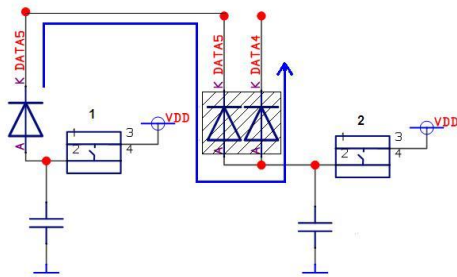
Ohjaimen toiminnot suunniteltiin käynnistettäväksi käyttämällä mikrokontrollerin *IOC*-sisääntuloissa painonappeja. *IOC*-sisääntuloja on mikrokontrollerissa 10, ja ne siirtävät ohjelman kulun keskeytusrutiiniin, kun sisääntulossa havaitaan mikrokontrollerin ohjelmakoodissa määritelty muutos, kuten nouseva reuna.[4]

Jokaisessa *IOC*-sisääntulossa käytettiin sisäänrakennettua Schmitt-liipaisinta (Schmitt-Trigger)[4], jolloin riittävän kytkinvärähtelyneston antaa yksinkertainen *RC*-piiri (Kuva 9)[12].



**Kuva 9.** *RC*-kytkinvärähtelynestopiiri

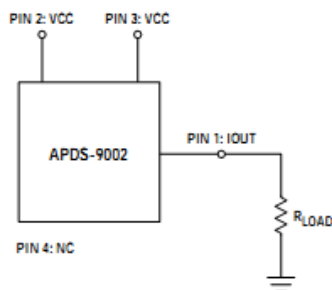
Enkooderissa ja dekooderissa on 8 datalinjaa [9][10] ja 12 nappia oli minimivaatimus. Siksi 4:ää datalinjaa käytettiin suoraan, mutta loput 8 nappia luotiin jäljelle jääneillä 4 linjalla. Tämä tehtiin siten, että 1 nappi voi kytkeä useamman kuin 1 pinnin 5 V:iin ja näin ollen 4 pinnillä voitiin luoda  $2^4$  eli 16 erilaista yhdistelmää. Tässä tapauksessa käytettiin kuitenkin vain 8:aa nappia. Jokainen nappi kytkettiin diodien kautta niihin sisäänmenoihin, joihin sen kuului vaikuttaa. Ilman diodeja datalinjan jännite olisi voinut yhdistyä toiseen datalinjaan, jonka ei ole tarkoitus vaihtaa jännitetasoa (Kuva 10).



**Kuva 10.** Ilman diodeja, kytkintä 1 painettaessa datalinjan 5 jännite yhdistyisi myös datalinjaan 4.

### 4.2.3 Kirkkauden säätäminen ympäristön valoisuuden mukaan

Ympäristön valoisuuden havaitsemiseen tarvittiin valoisuussensori ja sen hyödyntämiseen tarvittiin analogia-digitaalimuunnosta (AD-muunnosta). Valoisuussensoriksi valittiin APDS-9002-021, jonka valmistaja on Avago Technologies. Se on optimoitu ihmissilmälle näkyvien aallonpituuksien mukaan, joten se soveltuu tarkoitukseen erittäin hyvin[13]. Sensorin käyttöjännittealue on 2,4...5,5 V, joten käyttöjännitteeksi valittiin 5 V [13][13]. Ulostulon ja maatasen väliin kytkettiin kuormavastus  $R_{LOAD}$  mallikytkennän mukaan (Kuva 11). Ulostulo yhdistettiin mikrokontrollerin AD-muuntimen sisääntuloon.

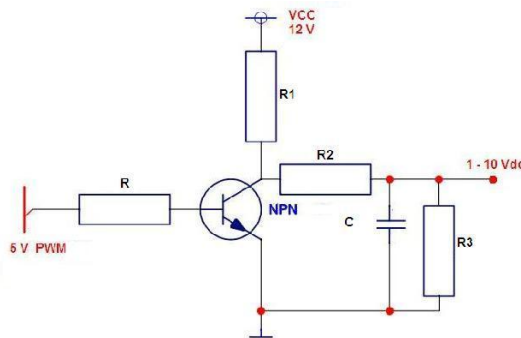


**Kuva 11.** Valoisuussensorin, APDS-9002-21, mallikytkentä [13].

#### 4.2.4 Ulostulot

Mikrokontrollerissa on 4 *PWM*-ulostuloa, joista saadaan 5 V:n *PWM*-signaalia, mikrokontrollerin käyttöjännitteen ollessa 5 V [4]. Näin ollen mitään ulkoista kytkentää ei tarvita ja *PWM*-signaali on valmis vakiovirtalähteen himmenninsisääntulossa käytettäväksi.

Analoginen 1...10 V:n jännitetaso toteutetaan alipäästösuodatinrakenteella. Kytkennässä hyödynnetään transistoria ja *PWM*-signaalia (Kuva 12).



**Kuva 12.** 1...10 V ulostulosignaali *PWM*-signaalin avulla

Kun *PWM*-signaali on 0 V, transistori ei johda ja kollektorilla on noin 12 V:n jännite. Tällöin ulostulon ja maatasen välissä oleva kondensaattori *C* varautuu kaavan (4) esittämällä tavalla, itsensä ja vastuksien *R1* ja *R2* muodostaman aikavakion  $\tau$  mukaisesti [14].

$$U_C = U(1 - e^{-(t/\tau)}), \quad (4)$$

jossa  $\tau = RC$ ,  $t$  = ajan tietty hetki ja  $U_C$  = kondensaattorin jännitetaso.

*PWM*-signaalin ollessa 5 V, transistori johtaa ja silloin ulostulon jännite on kondensaattorin varauksen mukainen. Kondensaattorin varaus purkautuu kaavan (5) esittämällä tavalla sen rinnalla olevien vastuksien *R2* ja *R3* sekä kondensaattorin itsensä muodostaman aikavakion  $\tau$  mukaisesti [14].

$$U_C = U_{C0}e^{-(t/\tau)}, \quad (5)$$

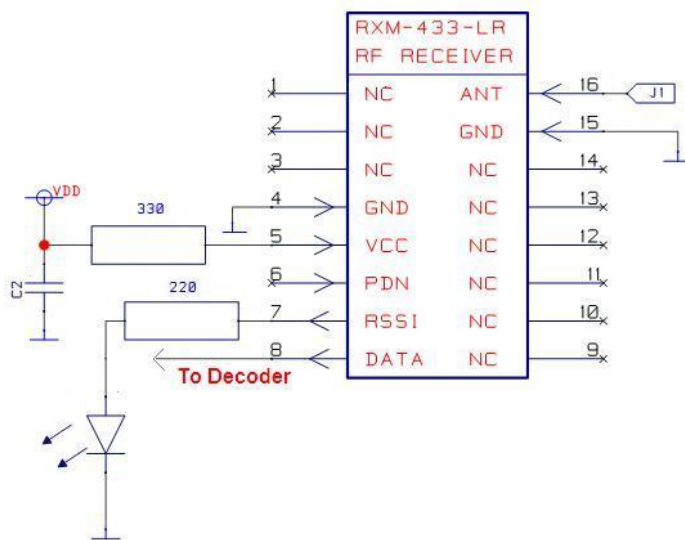
jossa  $\tau = RC$ ,  $t$  = ajan tietty hetki,  $U_C$  = kondensaattorin jännitetaso ja  $U_{C0}$  = kondensaattorin jännitetaso ennen katkaisua.

Ulostulon jännite on siis verrannollinen PWM-signaalin pulssisuhteeseen ja sopivilla komponenttien arvoilla saadaan ulostuloon tasajännittesignaali, jonka taso vaihtelee välillä 1...10 V.

Sopivat arvot komponenteille haettiin simuloimalla käyttäen Linear Technologyn ilmaista LTSPICE IV-simulaatio-ohjelmaa.

#### 4.2.5 RF-vastaanotin

RF-vastaanotin toteutettiin RXM-433-LR-piirin kanssa. Sen käyttöjännittealue on 2,7...3,6 V, mutta komponentin datalehden mukaisesti käyttöjännitteenä toimii 4,3...5,2 V, kun ennen käyttöjännitepinniä on 330  $\Omega$ :n sarjavastus kytkettynä [6]. RSSI-pinniin (*Received Signal Strength Indicator*) kytkettiin LED-merkkivalo ilmaisemaan vastaanotetun signaalin tehoa [6]. Dataulostulon yhdistettiin suoraan dekooderin datasisääntuloon. (Kuva 13)



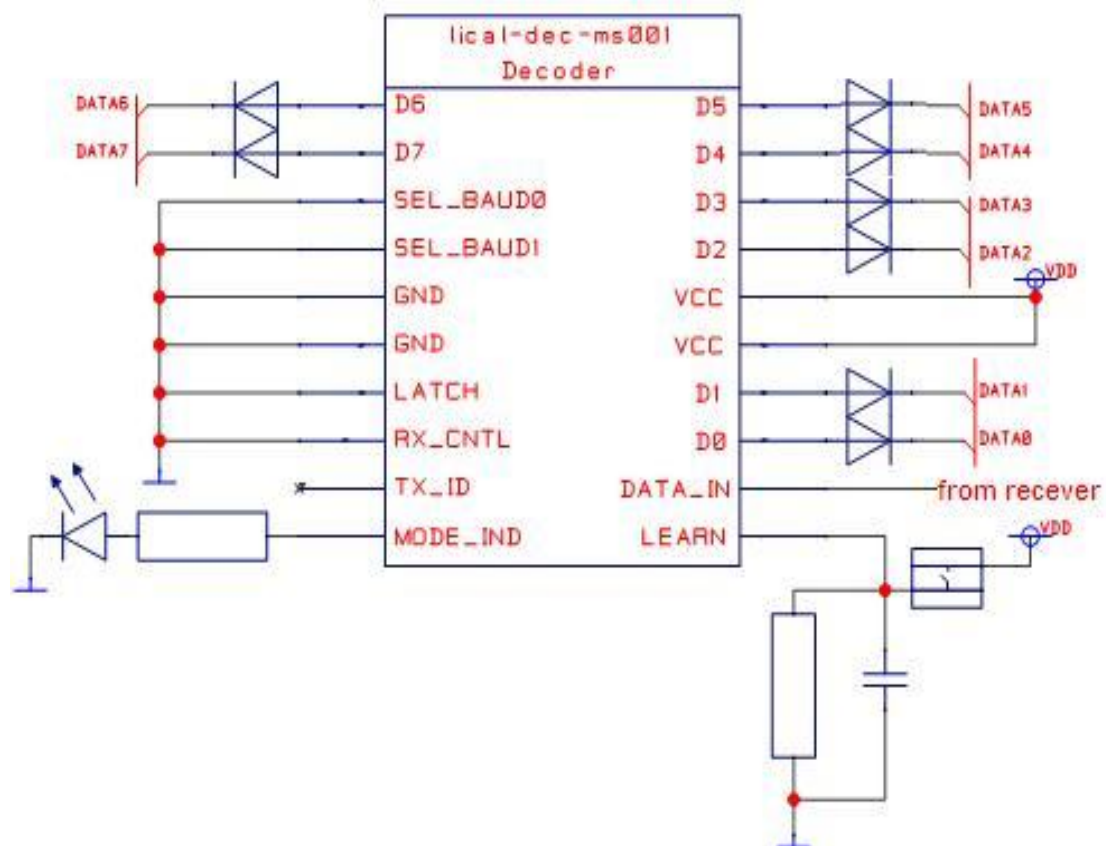
**Kuva 13.** RF-vastaanotin

RF-vastaanottimen piirilevysuunnittelussa tuli huomioida muutamia asioita. Antenniliitin tuli sijoittaa alle 4 mm:n etäisyydelle antennin ulostulopinnistä, koska tällöin ei siirtolinjan impedanssia tarvitse ottaa huomioon. Komponentin kanssa samassa kerroksessa oleva maa-alue ei saanut tulla 4 mm:ä lähemmäs komponenttia. Myös muita johdinvetoja komponentin läheisyydessä tuli välttää, eikä komponentin alta samassa kerroksessa saanut vetää johtimia. Kaksipuolisen levyn toisella puolella tuli olla hyvä maa-alue.[6]



#### 4.2.6 Dekooderi

Dekooderin LICAL-DEC-MS001 käyttöjännittealue on 2,0...5,5 V, joten käyttöjännitteeksi valittiin mikrokontrollerinkin käyttämä 5 V. Dekooderissa olevien kahdeksan dataulostulon tilat määräytyvät enkooderin datasisääntulojen mukaisiksi. Dataulostulot kytkettiin suojadiodien kautta samoihin mikrokontrollerin *IOC*-sisääntuloihin kuin laitteen napit (Kuva 14). Näin ollen ohjaimen ja kauko-ohjaimen nappien painaminen aiheuttaa identtisen tilanteen mikrokontrollerin kannalta katsottuna.[10]



**Kuva 14.** Dekooderi

Dekooderissa ja enkooderissa tulee valita sama siirtonopeus, jotta tiedonsiirto niiden välillä onnistuu. RF-lähetimen täytyy myös pystyä moduloimaan kyseinen data, joten RF-komponenttien tukemat siirtonopeudet otettiin myös huomioon.

Ohjaimeen valittiin siirtonopeudeksi 2400 b/s, koska ohjaimen RF-lähetin tukee siirtonopeuksia vain 5000 b/s saakka ja seuraava mahdollinen dekooderin ja enkooderin mahdollistama siirtonopeus olisi ollut 9600 b/s (Taulukko 1). Dekooderin siirtonopeus valittiin yhdistämällä valintapinnit *SEL\_BAUD1* ja *SEL\_BAUD0* maatasoon.[5][10](Kuva 14)

**Taulukko 1.** Siirtonopuden valinta [9][10].

SEL_BAUD1	SEL_BAUD0	Baud Rate (bps)
0	0	2,400
0	1	9,600
1	0	19,200
1	1	28,800

Dekooderin *LATCH*- eli salpapinni yhdistettiin maatasoon, jolloin dekoooderi toimii halutussa salpaamattomassa tilassa. Tällöin datalulostulot ovat aktiivisena vain silloin, kun dekoooderi vastaanottaa kyseistä signaalia. *MODE\_IND*-pinni vaihtelee tilaansa, kun lähetys vastaanotetaan tai siirrytään *Learn Mode*-tilaan tai muisti tyhjennetään. Tähän pinniin kytkettiin LED-merkkivalo, jotta nähdään halutun toiminnon tapahtuneen.[10] (Kuva 14)

*LEARN\_MODE*-pinniin kytkettiin painonappi samanlaisella *RC*-värähtelynestokytkennällä, kuin *IOC*-pinneihin kytketyt napit (Kuva 9). *Learn Mode*-tilassa dekoooderi on valmis vastaanottamaan enkooderin lähettämän koodisanan. Dekoooderi tutkii jokaisen vastaanottamansa lähetyksen alussa, onko siinä sen muistista löytyvää koodisanaa. Jos koodisana löytyy muistista, niin se asettaa dataulostulonsa enkooderin datasisääntulojen mukaiseen tilaan. Muutoin dekoooderi hylkää saapuneen lähetyksen ja jää odottamaan seuraavaa lähetystä. [9][10]

### 4.3 Kauko-ohjaimen kytkennän suunnittelu

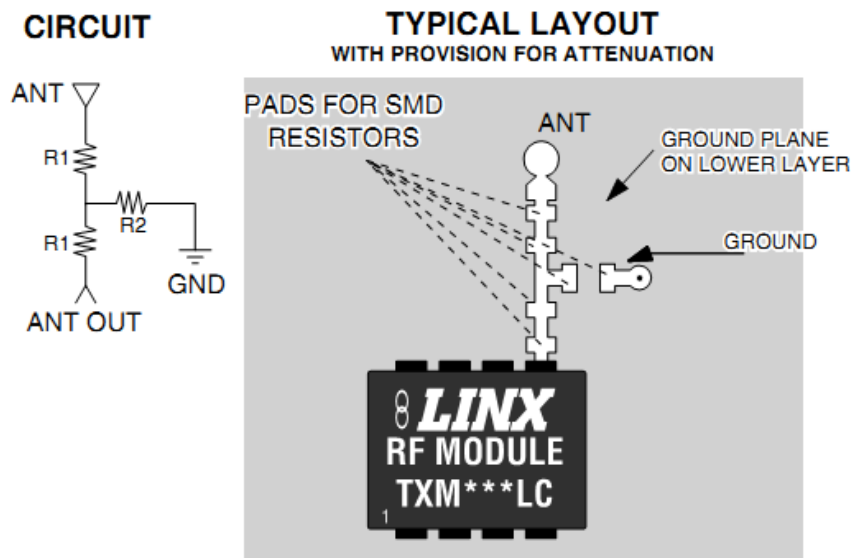
Kauko-ohjaimen jännitelähteeksi valittiin 3 V, koska kyseinen jännitetaso on suoraan yhteensopiva molempien kauko-ohjaimessa olevien piirien kanssa[5][9]. Lisäksi se on helppo tuottaa erillaisilla paristoilla.

#### 4.3.1 RF-lähetin

RF-lähetin toteutettiin TXM-433-LC-piirin kanssa. Piiri ei tarvitse kuin 4 yhteyttä toimiakseen: käyttöjännite, maataso, sisääntulodata sekä ulostulodata antennille. Lisäksi lähettimessä on myös *LADJ*-pinni lähetystehon vaimennukseen. [5]

Maatason yhdistämiseksi on piirissä kuitenkin 4 pinniä. Kaikki maatason pinnit tuli yhdistää kaksipuolisella piirilevyllä, komponentin vastakkaisella kerroksella olevaan maatasoon. Piirilevysuunnittelussa noudatettiin samoja suunnitteluohjeita kuin RF-vastaanottimen piirilevysuunnittelussa, sillä molempien komponenttien datalehdissä olivat samat ohjeet [5][6]. Antenniliitin sijoitettiin alle 4 mm:n etäisyydelle antennin ulostulopinnistä, saman kerroksen maa-alue rajattiin 4 mm:n etäisyydelle komponentista, johdinvetoja komponentin läheisyydessä vältettiin mahdollisuuksien mukaan, eikä komponentin alta samassa kerroksessa vedetty johtimia. Kaksipuolisen levyn toiselle puolelle jätettiin mahdollisimman hyvä ja ehjä maa-alue. [5]

Lähettimen *LADJ*-pinni on tarkoitettu lähetystehon vaimentamiseen, jos lähetysteho ylittää esimerkiksi sallitun lähetystehon rajan [7][8]. Pinnistä maatasoon kytketty vastus määrää vaimennuksen määrän. Vaimennus on enintään 7 dBΩ. Suurempaa vaimennusta varten tulee käyttää niin kutsuttua T-Pad-vaimenninta (Kuva 15) antennin ja sen ulostulopinnin välissä. Kaikille vaimennuskomponenteille tehtiin paikat piirilevyllä testaamista ja säätämistä varten, mutta tämän opinnäytetyön puitteissa niihin kytkettiin 0 Ω:n vastukset eli vaimennus ei ollut käytössä.[5]

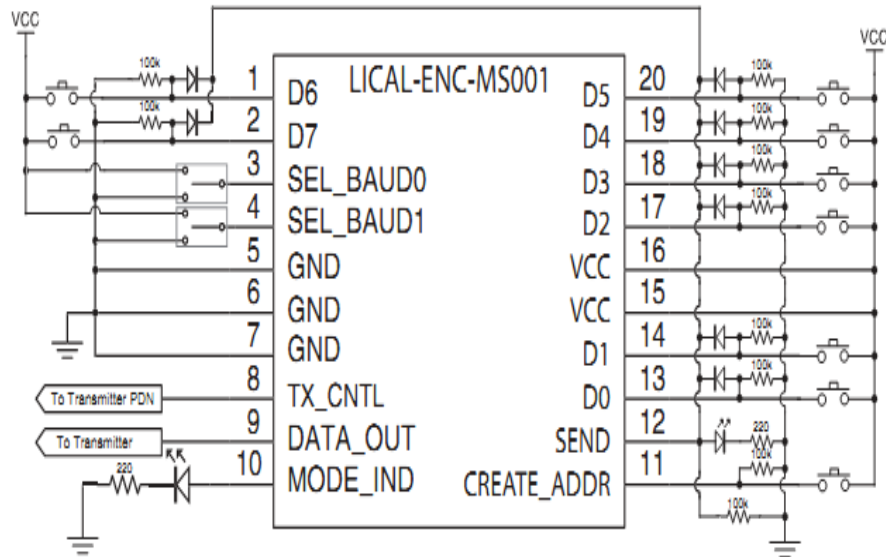


Kuva 15. T-Pad-vaimentimen piirilevysuunnitteluesimerkki [5]

#### 4.3.2 Enkooderi

Enkooderin datasisäätuloihin yhdistettiin samanlaiset napit kuin mikrokontrollerin *IOC*-pinneihin (Kuva 9). Jokainen nappi yhdistettiin myös diodin kautta *SEND*-pinniin, joka

aktivoi lähetyksen. Tällöin dataulostulosta lähtee sarjamuotoisena, datasisäätulojen tila enkoodattuna RF-lähettimelle. Diodeja käytettiin datalehden mallin mukaisesti estämässä jännitetasojen yhdistyminen toisiinsa (Kuva 16).[9]



**Kuva 16.** Enkooderin mallikytcentä, jossa käytetään diodeja datasisäätulojen ja *SEND*-pinnin välillä, jotteivät datasisäätulojen jännitteet yhdistyisi toisiinsa nappia painettaessa [9].

Enkooderin *TX\_CNTL*-pinni vaihtaa tilaansa *SEND*-pinnin mukaisesti, ja siihen kytkettiin LED-merkkivalo osoittamaan, onko lähetys käynnissä. Myös *MODE\_IND*-pinniin kytkettiin LED-merkkivalo. Se syttyy ja on päällä niin kauan, kuin enkooderi on koodisananluontitilassa eli *Create Mode*-tilassa. Enkooderi lähettää koodisanan jokaisen lähetyksen mukana ja dekooderi suorittaa lähetyksen mukaisen toiminnon vain, jos enkooderin koodisana on sen muistissa.[9][10]

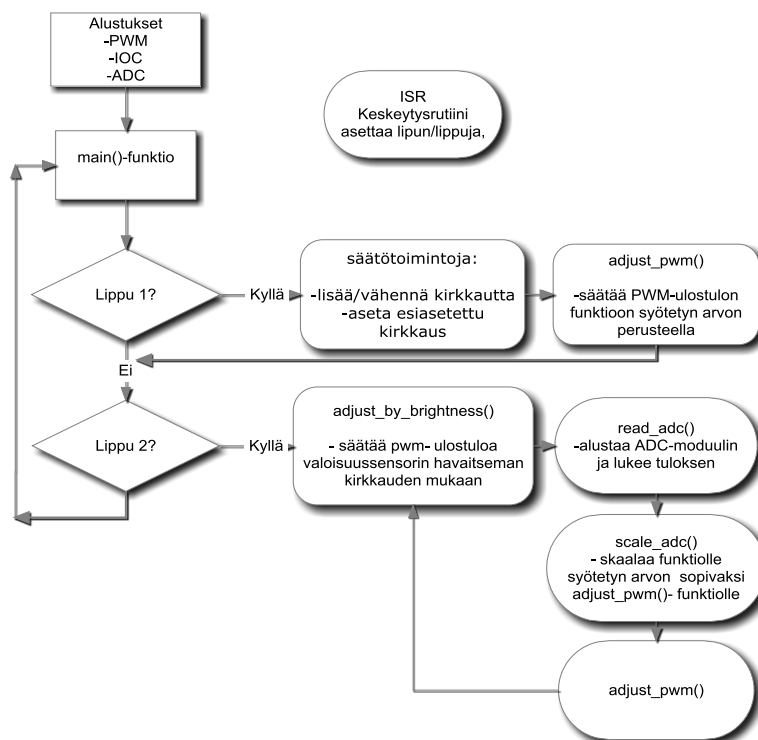
Siirtonopeuden valintapinnit *SEL\_BAUD1* ja *SEL\_BAUD0* kytkettiin maatasoon eli niiden tilat ovat 0, kuten dekooderissakin, jotta niiden siirtonopeudet vastaavat toisiaan ja tiedonsiirto onnistuu. Maatasoon kytkettynä *SEL\_BAUD1* ja *SEL\_BAUD0* saavat aikaan halutun 2400 b/s siirtonopeuden (Taulukko 1).

## 5 OHJELMAN SUUNNITTELU

Ohjelma kehitettiin Microchipin MPLAB IDE kehitysympäristön versiolla 8.76. Ohjelma kirjoitettiin C-kielellä, ja kääntäjänä oli kolmannen osapuolen kääntäjä HI-TECH C Compiler Lite-versio 9.82.

### 5.1 Ohjelman rakenne

Ohjelman suunnittelu aloitettiin hahmottelemalla ohjelman kulku ja tekemällä lohkokaavio sen rakenteesta (Kuva 17).



Kuva 17. Lohkokaavio ohjelman rakenteesta

#### 5.1.1 Mikrokontrollerin alustukset [4]

Mikrokontrolleri alustettiin toimimaan sisäisellä oskillaattorilla, ja sen taajuudeksi asetettiin 16 MHz. Sen lisäksi PWM-moduulit ja IOC-sisääntulot alustettiin ohjelman alussa. ADC(analogia-digitaalimuunnin)-moduuli alustettiin muunnosfunktion alussa vaikka myös sen olisi voinut alustaa ohjelman alussa.

IOC-toiminnon omaavat pinnit ovat PIC16F1828-mikrokontrollerissa *portti A:n* ja *portti B:n* pinnit. Tarvittavat pinnit asetettiin IOC-tilaan, sisäinen Schmitt-liipaisin asetettiin päälle ja mikrokontrolleri asetettiin tunnistamaan nouseva reuna kyseisissä pinneissä. Kun *IOC*-pinnissä nyt havaitaan nouseva reuna, siirtyy ohjelman kulku ISR-keskeytysrutiiniin.

PWM-moduuleita on neljä ja ne alustettiin kaikki toimimaan *Standard Operation*-tilassa ja keskenään samalla tavalla. PWM-taajuudeksi  $f_{PWM}$  valittiin 58 kHz ja esijakajan *TMRx Prescale Value* arvoksi 1. Tällöin oskillaattorin taajuuden  $f_{osc}$  ollessa 16 MHz, saatiin kaavasta (6) johdettua *PRx* arvo (*PWM*-signaalin jaksonajan arvo). Sijoittamalla, saatu *PRx* arvo kaavaan (7), saadaan resoluutioksi hieman yli 8-bittiä, joka on tarkoitukseen hyvin riittävä.

$$PWM\ Period = [(PRx) + 1] \times 4 \times T_{osc} \times (TMRx\ Prescale\ Value), \quad (6)$$

$$\text{jossa oskillaattorin jaksonaika } T_{osc} = \frac{1}{f_{osc}} \text{ ja } PWM\ Period = \frac{1}{f_{pwm}}$$

$$Resolution = \frac{\log [4(PRx+1)]}{\log (2)} \text{ bits} \quad (7)$$

ADC-moduuli alustettiin toimimaan sen suurimmalla tukemalla resoluutiolla eli 10-bitin resoluutiolla. Sen referenssijännitteenä käytettiin mikrokontrollerin käyttöjännitettä 5 V. Tällöin 10 b:n resoluutiolla saadaan  $2^{10}$  eli 1 024 näytettä 5 V:n jännitteestä, jolloin jänniteresoluutioksi saadaan 4,88 mV.

### 5.1.2 Ohjelman käynnistyminen

Kun mikrokontrollerin käynnistyttyä tarvittavat alustukset on tehty, siirtyy ohjelman kulku `main()`-funktioon. Funktion alussa, ennen ikuista silmukkaa, kasvatetaan ensimmäisen kanavan PWM-ulostulon pulssisuhde 100 %:iin. Sen jälkeen ohjelma kulkee ikuisessa silmukassa päivittäen `adjust_PWM()`-funktiossa tarvittavia muuttujia ja tarkistaen onko keskeyslippuja asetettu.

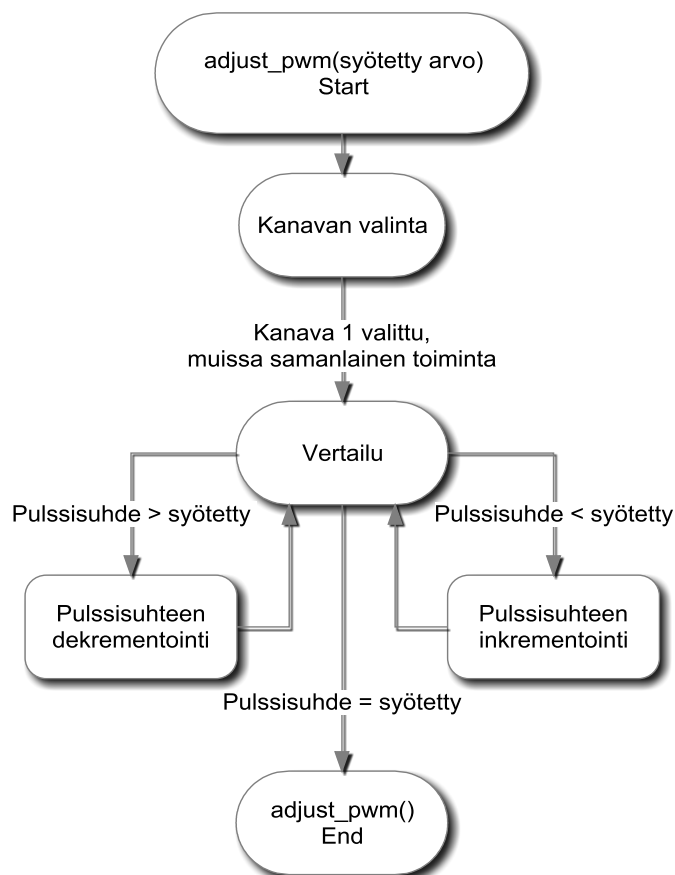
*IOC*-sisääntulossa havaitun nousevan reunan jälkeen siirtyy ohjelman kulku keskeytysrutiiniin. Keskeytysrutiinissa luetaan, mikä *IOC*-sisääntulo aiheutti keskeytyksen. Jos keskeytyksen aiheutti jokin kanavanvalintanapeista, niin kirjoitetaan kanava *channel*-muuttujaan. Jos taas keskeytyksen aiheutti jokin säätötoimenpidenappi, kuten kirkkaudenlisäys, asetetaan sitä vastaava lippu. Tämän jälkeen ohjelma siirtyy

takaisin `main()` -funktioon. Siellä ohjelma tarkistaa onko lippuja asetettu. Jos jokin lippu on asetettu, siirtyy ohjelman kulku lipun mukaiseen funktioon.

Lohkokaaviossa (Kuva 17) ”Lippu 1” ohjaa yksinkertaistetusti ohjelman kulun *Säätötoimintoja*-kohtaan. Ohjelmassa kuitenkin on useita eri lippuja, jotka ohjaavat ohjelman kulun tiettyyn säätötoimenpiteeseen. Lopullinen pulssisuhteen muuttaminen tapahtuu kuitenkin aina `adjust_PWM()` -funktiossa.

### 5.1.3 Pulssisuhteen säätäminen

Funktion `adjust_PWM()` rakenne koostuu yksinkertaistetusti kahdesta silmukasta (Kuva 18). Toisessa silmukassa inkrementoidaan ja toisessa dekrementoidaan *PWM*-ulostulon pulssisuhdetta. Lisäksi funktiossa tarkastetaan *channel*-muuttujan arvoa ja muutokset tehdään vain valitulle kanavalle.



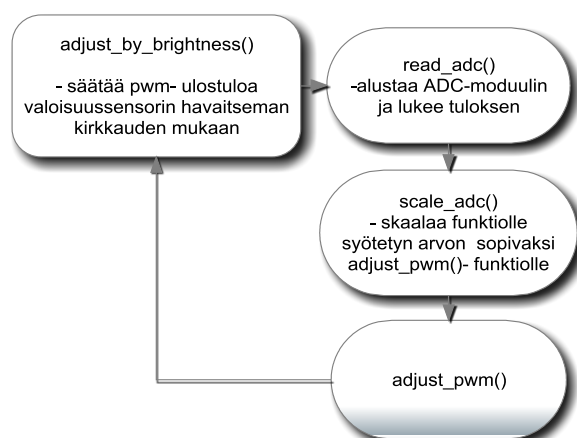
**Kuva 18.** Lohkokaavio `adjust_PWM()` -funktion toiminnasta.

Funktion alussa vertaillaan senhetkistä pulssisuhdetta sekä funktioon syötettyä arvoa eli haluttua pulssisuhdetta. Vertailutuloksen perusteella siirrytään, joko pulssisuhdetta inkrementoiivaan tai dekrementoiivaan silmukkaan. Kun ohjelman kulku on jommassakummassa silmukassa, muuttaa se yhdellä arvolla pulssisuhdetta ja tarkistaa, onko saavutettu haluttu pulssisuhde. Jos haluttua pulssisuhdetta ei ole saavutettu, tekee se uuden kierroksen silmukassa ja suorittaa vertailun uudelleen. Kun haluttu pulssisuhde on saavutettu, poistutaan funktiosta. Näin menettelemällä pulssisuhde muuttuu liukuvasti sen sijaan, että pulssisuhteen arvo muuttuisi suoraan vanhasta arvosta syötettyyn uuteen arvoon.

Molempien silmukoiden sisälle lisättiin viiveen aiheuttava `__delay_ms()`-makro, joihin syötetyt arvot määräävät yhden silmukan kierroksen viiveen millisekunteina. Makro löytyy HI-TECH C Compiler Liten *pic.h*-kirjastosta.

#### 5.1.4 Himmennyksen säätäminen ympäristön valoisuuden mukaan

Funktio `adjust_by_brightness()` kulkee ikuista silmukkaa, jossa se kutsuu `read_ADC()`-, `scale_ADC()`- ja `adjust_PWM()`-funktioita (Kuva 19). Funktiossa `read_ADC()` alustetaan ADC-moduuli. Sen jälkeen AD-muunnos aloitetaan ja sen kymmen ensimmäistä tulosta tallennetaan ja keskiarvoistetaan. Keskiarvoistus tehdään, jotta saadaan suodatettua esimerkiksi loisteputkivalojen aiheuttamat häiriöt pois [15]. Keskiarvoistettu tulos syötetään `scale_ADC()`-funktioille arvoksi ja `scale_ADC()`-funktio skaalaa arvon sopivaksi `adjust_PWM()`-funktioille syötetäväksi.



**Kuva 19.** Funktio, `adjust_by_brightness()`, lohkokaavio.



## 6 TULOKSET JA MITTAUKSET

Kun ohjaimesta saatiin prototyyppi, aloitettiin testaaminen ja mittaaminen. Tärkeimpänä tulosten osalta pidettiin tässä vaiheessa sitä, että kaikkien perusfunktioiden tulisi toimia. Toisin sanoen PWM-pulssisuhteen tulisi reagoida ohjaukseen halutulla tavalla. Lisäksi mitattiin, kuinka hyvin analoginen jänniteulostulo saatiin luotua PWM-signaalin avulla verrattuna simuloituun. Lisäksi kauko-ohjaimen toimintaa testattiin yleisellä tasolla.

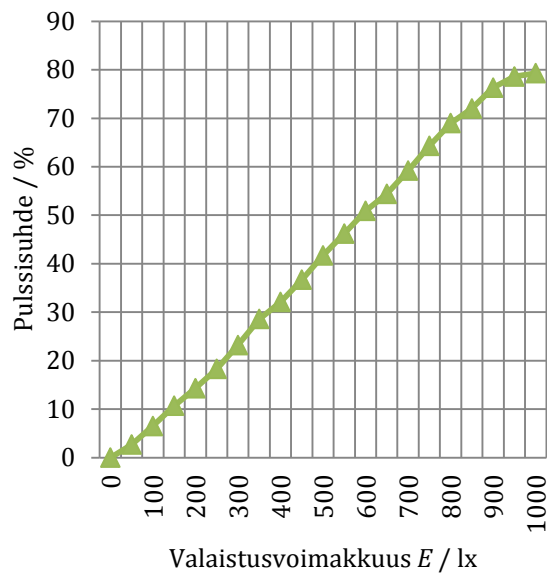
Mittauslaitteistona käytettiin Agilent Technologiesin oskilloskooppia DS01012A sekä tasajännitelähdettä E3645A. Oskilloskoopilla mitattiin PWM-signaalin pulssisuhdetta sekä ohjaimen jännitetasoja. King Testing Equipmentsin yleismittaria MS8213C käytettiin juotosvaiheessa mahdollisesti syntyneiden oikosulkujen havaitsemiseen. *Extech* Instrumentsin 403125 LightProbeMeter™-luksimittaria käytettiin valaistusvoimakkuuden mittaamiseen. Valaistusvoimakkuuden mittauksissa valonlähteenä käytettiin 4:ää Cree XP-G Warm White -teholedyä, joiden värilämpötila oli 3 000 K.

### 6.1 Funktioiden toiminnan testaus

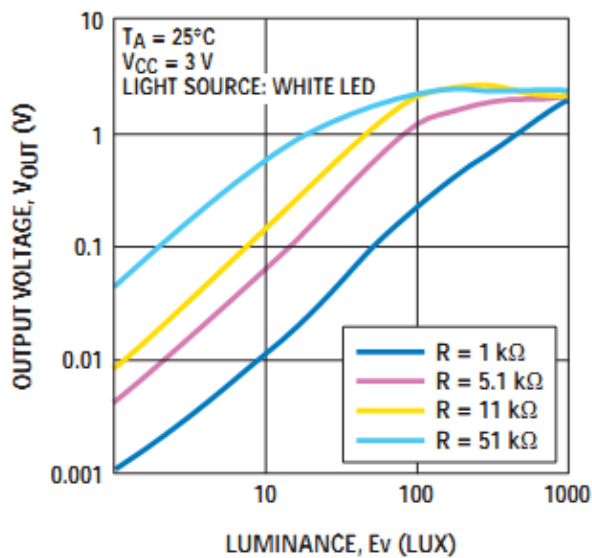
Funktioiden toimintaa testattiin mittaamalla oskilloskoopilla mikrokontrollerin *PWM*-ulostulon pulssisuhdetta samalla, kun painonapeilla ohjattiin toimintoja. Ohjain reagoi nopeasti nappien painamiseen, sekä PWM-pulssisuhteen muutosfunktio, `adjust_PWM()`, toimii halutulla tavalla eli liukumalla pehmeästi arvosta toiseen.

Myös `adjust_by_brightness()`-funktio toimi, joskin siinä ilmeni ongelma: se ei muuttanut pulssisuhdetta korkeammalle tasolle kuin 80 % (Kuva 20). Tämä johtui siitä, että valoisuussensorin, APDS-9002-021, ulostulossa jännite ei noussut komponentin käyttöjännitteen 5 V tasolle, kuten oli datalehdessä olevan kuvan (21) perusteella päätelty. Jännitetaso nousi vain noin 4 V:n tasolle eli noin 80 %:iin oletetusta tasosta.

Datalehden tarkemman tutkimisen jälkeen huomattiin maininta komponentin saturoitumisesta noin 80 %:n kohdalla [13]. Ongelma saatiin ratkaistua ohjelmallisesti korjaamalla `scale_ADC()`-funktioita antamaan PWM-signaalille 100 %:n pulssisuhde jo jännitetasolla 4 V. Lisäksi PWM-pulssisuhde invertoitiin ohjelmassa, jotta ympäristön valaistusvoimakkuuden kasvaessa PWM-pulssisuhde pienenee sen sijaan, että se kasvaa, kuten kuvassa (20).



**Kuva 20.** PWM-signaalin pulssisuhde valaistusvoimakkuuden funktiona, `adjust_by_brightness()`-funktion ollessa käynnissä

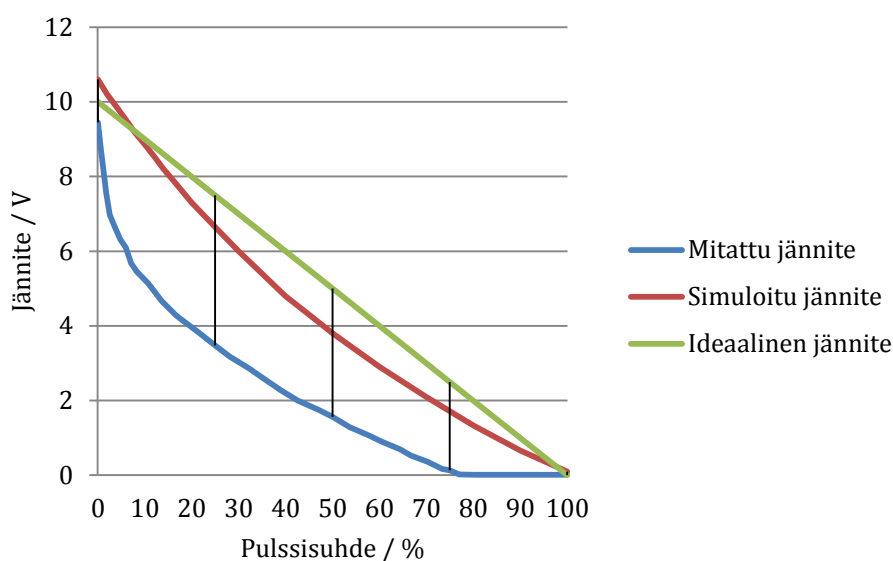


**Kuva 21.** Valoisuussensorin, APDS-9002-021, ulostulojännite eri kuormavastuksilla  $R_{LOAD}$  [13]

PWM-signaalin pulssisuhdetta sekä ympäristön valaistusvoimakkuutta  $E$ , mitattiin samalla, kun `adjust_by_brightness()`-funktio oli käynnissä. Mittaustuloksista (Kuva 20) todettiin, että pulssisuhteen muutokset tapahtuvat järkevällä valaistusvoimakkuuden alueella: 0...1000 lx. Esimerkiksi toimistotyöpisteen standardoitu valaistusvoimakkuuden määrä on 500 lx [16].

## 6.2 Analoginen 1...10 V jänniteulostulo

Analogisen jänniteulostulon toimimintaa testattiin mittaamalla ulostulon jännitetaso verrattuna PWM-pulssisuhteeseen. Tulokset poikkesivat simuloituista tuloksista (Kuva 22) todennäköisesti simuloinnissa käytetyn ideaalisen transistorin vuoksi. Tulosta voitaisiin parantaa optimoimalla komponenttien arvoja sekä vaihtamalla transistoria. Sitä ei kuitenkaan ehditty tämän opinnäytetyön puitteissa tekemään.



**Kuva 22.** Analoginen 1...10 V:n ulostulojännite PWM-pulssisuhteen funktiona.

## 6.3 Kauko-ohjaimen toimintojen testaus

Kauko-ohjaimen toiminnasta testattiin, saadaanko kauko-ohjaimen RF-lähettimellä yhteys ohjainlaitteen RF-vastaanottoimeen. Lisäksi testattiin painonappien toiminta.

Mittaamalla ohjainlaitteen PWM-ulostulosignaalia, todettiin, että RF-yhteys saatiin muodostettua kauko-ohjaimen ja ohjainlaitteen välille, mutta tietyt napit aiheuttivat väärän toiminnon. Syyksi arveltiin, enkooderin ja dekooderin datalehtien tietojen mukaisesti, että kaikkia dataväyliä ei ollut avattu käyttöön[9][10]. Tämä myös todettiin mittaamalla, että enkooderin datapinnelle tuli oikeat jännitteet nappeja painettaessa, kun taas dekooderilla vastaavat pinnit eivät vaihtaneet tasoaan enkooderin mukaisesti. Ongelma ratkaistiin vapauttamalla datalehtien ohjeiden mukaisesti kaikki datalinjat käyttöön [9][10].

## 7 YHTEENVETO

Tässä työssä suunniteltiin kauko-ohjattava LED-vakiovirtalähteitä ohjaava laite, joka hyödyntää LED-vakiovirtalähteiden himmennykseen tarkoitettuja, joko 5 V:n *PWM*-sisääntuloa tai 1...10 V:n jännitesisääntuloa. Laite tehtiin Microchip Technologiesin 8-bittisen PIC16F1828-mikrokontrollerin ympärille. Mikrokontrolleriin ohjelmoitiin erilaisia ohjausfunktioita, jotka määrasivät ulostulevan *PWM*-signaalin pulssisuhteen. 1...10 V:n jännitetaso luotiin *PWM*-signaalia hyväksikäyttämällä.

Ohjainlaitteesta tuli toimiva, mutta 1...10 V:n jännitetason suhde *PWM*-signaaliin ei vastannut simuloituja arvoja. Ominaisuus toimi, mutta ei tyydyttävällä tavalla. Muut ominaisuudet toimivat oletetusti ja niihin voitiin olla tyytyväisiä. Kauko-ohjaimen toimivuus testattiin, mutta tämän opinnäytetyön ulkopuolelle jouduttiin rajaamaan kauko-ohjaimen tarkemmat mittaukset ja optimointi

Monipuolisia ohjaimia on ollut tarjolla huomattavasti enemmän vakiojänniteledimoduuleille, joka on tehnyt osaltaan näistä, hyötysuhteeltaan monesti merkittävästi huonommista moduuleista, suositun vaihtoehdon LED-valaistuksessa. Suunnitellulla laitteella voidaan ohjata monipuolisesti valaistusta sen mahdollistavien, hyötysuhteeltaan parempien LED-vakiovirtalähteiden avulla, eivätkä ohjausominaisuudet näin ollen mahdollisesti tulevaisuudessa olisi LED-valaistustapaa valittaessa rajoittava tekijä.

Työn mielenkiintoisia jatkokehitysmahdollisuuksia ovat esimerkiksi laajemat kauko-ohjausmahdollisuudet, kuten ohjaaminen puhelimella tai tietokoneella. Lisäksi mikrokontrollerilla voidaan luoda monia erilaisia valaistusfunktioita ja vaikka antaa laitteen käyttäjälle mahdollisuus ajastaa valaistuksen päälläoloaikoja

## LÄHTEET

- [1] *"LED CC 18W DC 350mA DIM 1-10V,"* Lightech Electronic Industries Ltd., Northern Industrial Zone, Israel
- [2] *"Cree® Xlamp® XP-G leds,"* Cree, Inc., Durham, North Carolina, USA
- [3] Lumensource®, *"LED Fundamentals,"* [pdf-dokumentti]. Saatavilla:  
<[http://www.lumensource.biz/file\\_download/12/LED\\_Fundamentals.pdf](http://www.lumensource.biz/file_download/12/LED_Fundamentals.pdf)>  
(Luettu 17.10.2011)
- [4] *"PIC16(L)F1824/1828 14/20-Pin Flash MCU with nanoWatt XLP Technology,"* Microchip Technology, Chandler, Arizona, USA
- [5] *"LC Series Transmitter Module Data Guide,"* Linx Technologies, Merlin, Oregon, USA
- [6] *"LR Series Receiver Module Data Guide,"* Linx Technologies, Merlin, Oregon, USA
- [7] Viestintävirasto, *"taajuusjakotaulukko,"* [pdf-dokumentti]. Saatavilla:  
<[http://www.ficora.fi/attachments/5wVyEVebX/Taajuusjakotaulukko\\_10\\_2\\_2011.pdf](http://www.ficora.fi/attachments/5wVyEVebX/Taajuusjakotaulukko_10_2_2011.pdf)> (Luettu 17.10.2011)
- [8] Viestintävirasto, *"Luvasta vapaiden radiolähettimien yhteistaajuuksista ja käytöstä,"* [pdf-dokumentti]. Saatavilla: <[http://www.ficora.fi/attachments/suomimq/5xxaIP6YL/Maarays\\_15AB2011M.pdf](http://www.ficora.fi/attachments/suomimq/5xxaIP6YL/Maarays_15AB2011M.pdf)> (Luettu 17.10.2011)
- [9] *"MS Series Remote Control Encoder IC Data Guide,"* Linx Technologies, Merlin, Oregon, USA
- [10] *"MS Series Remote Control Decoder IC Data Guide,"* Linx Technologies, Merlin, Oregon, USA
- [11] *"L78MxxC Positive voltage regulators,"* STMicroelectronics, Geneva, Switzerland
- [12] David Meiklejohn, Gooligum Electronics, *"Introduction to Programming Midrange PICs in C, Lesson 4: Interrupt-on-change Sleep Mode and the Watchdog Timer,"* [pdf-dokumentti]. Saatavilla:  
<[http://www.gooligum.com.au/tutorials/midrange/PIC\\_Mid\\_C\\_4.pdf](http://www.gooligum.com.au/tutorials/midrange/PIC_Mid_C_4.pdf)> (Luettu 17.10.2011)
- [13] *"APDS-9002 Miniature Surface-Mount Ambient Light Photo Sensor,"* Avago Technologies, San Jose, California, USA
- [14] Mäkelä Mikko, Soininen Lauri, Seppo Tuomola, Juhani Öistämö, *Tekniikan KAAVASTO*. Tampere, Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka, 2005

- [15] David Meiklejohn, Gooligum Electronics, "*Introduction to PIC Programming, Midrange Architecture and Assembly Language, Lesson 14: Integer Arithmetic and Arrays*," [pdf-dokumentti]. Saatavilla: <[http://www.gooligum.com.au/tutorials/midrange/PIC\\_Mid\\_A\\_14.pdf](http://www.gooligum.com.au/tutorials/midrange/PIC_Mid_A_14.pdf)> (Luettu 17.10.2011)
- [16] Suomen valoteknillinen seura, "*Valaistushankintojen energiatehokkuus*," [pdf-dokumentti]. Saatavilla: <[http://www.valosto.com/tiedostot/SVS\\_Valaistushankintojen\\_energiatehokkuus\\_V4.pdf](http://www.valosto.com/tiedostot/SVS_Valaistushankintojen_energiatehokkuus_V4.pdf)> (Luettu 17.10.2011)